



## Captage et stockage du CO<sub>2</sub>: quels enjeux en France

Benoît de Guillebon, Minh Ha-Duong

### ► To cite this version:

Benoît de Guillebon, Minh Ha-Duong. Captage et stockage du CO<sub>2</sub>: quels enjeux en France. *Environnement & Technique*, 2007, 268, pp.36-39. halshs-00154698

**HAL Id: halshs-00154698**

**<https://shs.hal.science/halshs-00154698>**

Submitted on 14 Dec 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## CAPTAGE ET STOCKAGE DU CO<sub>2</sub> Quels enjeux en France ?

Benoît de Guillebon, APESA, et Minh Ha-Duong, CIRED

Ce article est issu de présentations et d'un débat menés lors d'un atelier de dialogue<sup>a</sup> tenu le 27/04/2007 dans le cadre des projets de recherche SOCECO2<sup>b</sup> et METSTOR<sup>c</sup>. Cet atelier de dialogue rassemblait des représentants des différents acteurs concernés par la problématique du captage et stockage du CO<sub>2</sub> : scientifiques, industriels, pouvoirs publics, collectivités, associations, journalistes. L'objectif de cet atelier de dialogue était de réfléchir ensemble sur les conditions nécessaires au développement de cette nouvelle technologie. Le présent article reprend de manière simplifiée les principaux enjeux identifiés et les questions qu'il reste à résoudre.

### Qu'est ce que le Captage et Stockage du CO<sub>2</sub> (CSC) ?

Le Captage et Stockage du CO<sub>2</sub> (CSC) est une technologie de lutte contre le changement climatique. Elle permet d'éviter le relargage de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par la combinaison de 3 étapes illustrées Figure 1 :

#### ♦ Une étape de captage du CO<sub>2</sub>

Concrètement cela veut dire installer à la sortie d'une unité industrielle qui produit du CO<sub>2</sub> (aciérie, cimenterie, centrale électrique....) un système qui permet de récupérer le CO<sub>2</sub> séparé des autres gaz. Cette définition induit 2 conséquences :

D'une part on ne peut économiquement capter le CO<sub>2</sub> que sur des grosses installations industrielles fixes. Il n'est pas en effet technologiquement envisageable de capter le CO<sub>2</sub> émis par

les petits producteurs de CO<sub>2</sub> (pots d'échappement des voitures par exemple.)

D'autre part, il faut s'affranchir d'un gaz présent dans la majorité des produits de combustion, à savoir l'azote. Les technologies de captage font donc appel à des solutions où l'azote est éliminée d'entrée (combustion à l'oxygène pur par exemple) ou à la sortie de la

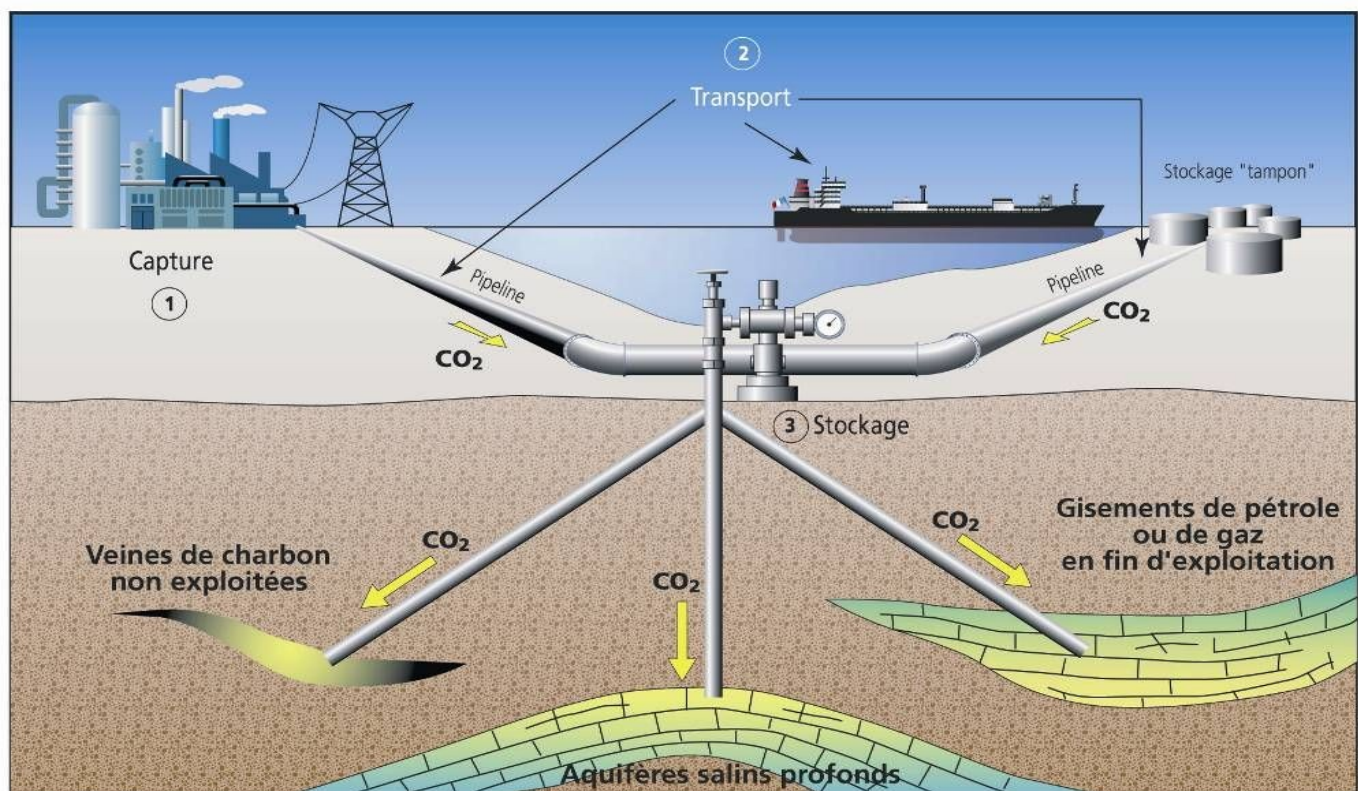


Figure 1: Schéma de principe du captage et stockage du CO<sub>2</sub>

cheminée (combustion à l'hydrogène ou séparation par absorption.)

#### ♦ Une étape de transport

Le CO<sub>2</sub> gazeux occupant beaucoup de volume, le transport se fait souvent sous forme de CO<sub>2</sub> comprimé à quelques dizaines de bars. En effet le CO<sub>2</sub> passe alors à l'état supercritique et ressemble autant à un liquide qu'à un gaz. Le transport peut se faire sur plusieurs centaines de kilomètres, soit par un pipeline soit par bateau.

#### ♦ Une étape de stockage

C'est l'opération qui pose aujourd'hui le plus de questions scientifiques. On se détourne aujourd'hui de l'idée de stocker sur le fond de l'océan, dans des sortes de "lac de CO<sub>2</sub>" stabilisé au fond des mers. Les risques pour le milieu et les écosystèmes marins ont été jugés trop importants. Techniquement, le stockage pourrait se faire dans plusieurs types de réservoirs géologiques :

Le plus simple, ce sont les anciens gisements de ressources fossiles (gisement pétroliers et gaziers et dans une moindre mesure les veines de charbon inexploitable),

Le plus abondant ce sont les aquifères profonds, c'est-à-dire des nappes d'eau totalement impropres à la consommation car très riches en sels (jusqu'à 3 fois la concentration en sel de l'eau de mer) et situées à plusieurs centaines de mètres de profondeur. L'injection de CO<sub>2</sub> dans les anciens gisements gaziers ou pétroliers est déjà pratiquée depuis plusieurs années. En effet pour améliorer la récupération des hydrocarbures, il est parfois nécessaire de « pousser » le pétrole. Dans le cas du site de Weyburn en Amérique du Nord, depuis plus de 10 ans, du CO<sub>2</sub> est injecté dans le gisement pour améliorer la récupération de pétrole.

Si la technologie de stockage du CO<sub>2</sub> va demander des développements spécifiques, elle pourra s'appuyer sur toute l'expérience accumulée au cours d'une centaine d'années d'exploitation pétrolière et gazière. En France, la société TOTAL développe un pilote dans la région de Lacq. De telles opérations de développement sont un nécessaire préalable au développement commercial et industriel de la technologie possible après 2015.

**Stocker le CO<sub>2</sub> pour lutter contre le réchauffement climatique**

La plupart des études prospectives sur l'énergie s'accordent à dire que si dans l'absolu il est souhaitable d'aller le plus vite possible vers des énergies sans carbone (c'est-à-dire ne produisant pas de CO<sub>2</sub> comme les énergies renouvelables), le rythme de développement de ces énergies ne permettra pas de répondre rapidement aux besoins actuels. D'autant moins qu'il faut intégrer dans la réflexion l'augmentation importante des besoins en énergie des pays en développement (Chine, Inde, Brésil...).

Dans le panel des solutions nécessaires pour répondre à l'objectif Facteur 4<sup>d</sup>, on dispose de peu d'options pouvant être déployées en moins de 10 ans à l'échelle du problème. Dans ce cadre, si on peut penser que la CSC n'est pas la solution durable à long terme, elle peut être vue comme une technologie de transition. Cette solution devra aider dans les 50 à 100 prochaines années à donner le temps de complètement "décarboniser" l'énergie que nous utilisons.

Cette possibilité étant posée, comment s'accorder sur la place de cette technologie dans le panel des solutions énergétiques en France ?

Ce niveau devra être défini par l'État en prenant en compte les aspirations contradictoires des différents acteurs :

- ♦ D'un côté certaines associations insistent sur le fait que les énergies fossiles propres n'existent pas, la CSC ne faisant que réduire les émissions de CO<sub>2</sub> sans les éliminer tout à fait. Elles concluent que les financements publics devraient plutôt encourager l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, jugées immédiatement disponibles et créatrices d'emploi.
- ♦ De l'autre pour certains industriels dont le procédé ne peut pas éviter de produire du CO<sub>2</sub> (sidérurgie, verrerie, cimenterie...), la CSC est la seule solution possible pour ne pas émettre des gaz à effet de serre dans le contexte technologique et économique prévisible.

Le développement de la CSC doit donc s'inscrire dans un projet politique global de maîtrise des émissions de GES. Un débat et des conclusions claires sur le rôle de la CSC dans l'atteinte de l'objectif "facteur 4" semblent donc une

nécessité pour donner une visibilité à tous les acteurs quant au développement de la technologie.

Si l'on veut atteindre l'objectif de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> d'un facteur 4 d'ici à 2050, il pourrait être nécessaire de disposer d'une capacité de stockage de l'ordre de 100Mt de CO<sub>2</sub> par an à cet horizon dans notre pays. A titre de comparaison, les 3 plus gros projets actuels dans le monde injectent chacun environ 1 Mt de CO<sub>2</sub> par an.

La géologie de la France offre des possibilités de stockage de cet ordre, même si elles ne sont pas identiques sur tout le territoire. Il y a trois bassins sédimentaires en métropole que l'on peut penser utiliser: le bassin de Paris, le bassin d'Aquitaine, le bassin du Sud-Est sans compter le sous-sol au large des côtes.

**Cher, mais pas trop: 30 à 60 euros par tonne de CO<sub>2</sub> évité.**

Il est bien évident qu'une opération qui consiste à capter le CO<sub>2</sub> émis par une installation industrielle, à le transporter jusqu'au site de stockage, à l'injecter dans le sous sol et enfin à assurer la surveillance sur le long terme du site, va coûter plus cher que simplement libérer le CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Non seulement cela coûte plus cher, mais aussi l'ensemble des opérations de la CSC consomment de l'énergie et donc génèrent du CO<sub>2</sub> en plus (voir la Figure 2).

La CSC est donc loin d'être économiquement et écologiquement neutre. La fourchette des coûts estimée aujourd'hui est de 25 à 40 euros par tonne de CO<sub>2</sub> évité pour le captage, cependant aucune des technologies n'est complètement mature. Il faut ajouter 1 à 3€ la tonne transportée pour 100 km, et 5 à 15€ la tonne pour le stockage. Pour ces deux derniers, les coûts

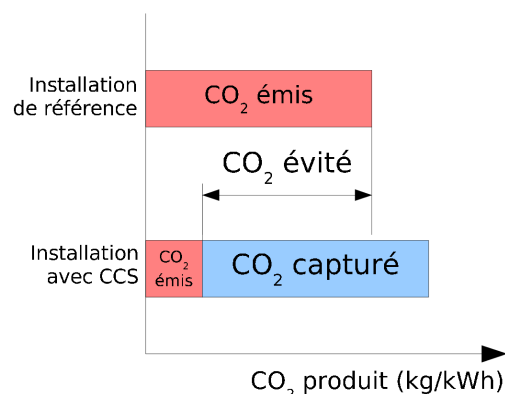


Figure 2: Le CO<sub>2</sub> évité est net des émissions dues à la CCS elle-même.

	<b>Charbon pulvérisé</b>	<b>Cycle combiné gaz naturel</b>	<b>Cycle combiné à gazéification intégrée</b>
<b>Centrale de référence</b>	4.3 - 5.2	3.1 - 5.0	4.1 - 6.1
<b>Centrale avec CSC</b>	6.3 - 9.9	4.3 - 7.7	5.5 - 9.1

Tableau 1: Fourchette du coût total du captage, transport et stockage du CO<sub>2</sub> selon les techniques actuelles et pour des centrales neuves (source: GIEC, op. cit., tableau RT.10). Cents \$US / kWh

unitaires diminuent sensiblement lorsque la taille de l'opération augmente.

Ces coûts se traduisent par un surcoût au niveau des opérations industrielles. Comme le montre le Tableau 1, pour la production d'énergie à partir de ressources fossiles, le surcoût se compte en dizaines de pourcent selon que la ressource est le gaz naturel (le moins producteur de CO<sub>2</sub>) ou le charbon (le plus producteur de CO<sub>2</sub>).

L'existence de tels surcoûts impose une démarche concertée au niveau mondial pour ne pas générer de distorsion de concurrence. Une aciérie ou une centrale électrique à laquelle on impose la CSC sera clairement désavantagée économiquement par rapport aux mêmes unités industrielles sans CSC. On voit donc que le développement de la CSC ne pourra pas se faire sans une forme de régulation qui puisse être au moins européenne, voire idéalement mondiale.

Pour les investisseurs actuels, l'enjeu est déjà de prévoir des usines et des centrales adaptables pour la CSC, car aujourd'hui se mettent en place des mécanismes qui visent à taxer le CO<sub>2</sub> (mécanismes des quotas, bientôt taxe sur le CO<sub>2</sub> émis).

La généralisation de ces mécanismes au niveau mondial et la stabilisation de la "valeur de la tonne du CO<sub>2</sub>" à un niveau suffisant seront des conditions nécessaires au développement de la CSC. Les coûts de CSC correspondent à des valeurs du CO<sub>2</sub> de quelques dizaines de dollars US la tonne de CO<sub>2</sub>, ce qui est encore supérieur -- mais pas si éloigné du cours du permis d'émissions sur le marché européen.

### **Les risques pour l'homme et l'environnement**

Étant plus léger que l'eau, le CO<sub>2</sub> tend à remonter vers la surface si la couverture du réservoir n'est pas étanche. De plus ce n'est pas un gaz inerte, il réagit avec la roche. Il est donc nécessaire de savoir prédire l'impact sur le sous sol du

stockage du CO<sub>2</sub>, aux niveaux physiques, chimiques et même biologiques. Cette question nécessite le couplage et la validation de modèles intégrant ces trois disciplines. De tels outils n'existent pas encore commercialement, mais sur ce point les recherches actuelles avancent vite.

Pour les stockages de CO<sub>2</sub> artificiels bien choisis, les techniques envisagées ainsi que la connaissance des phénomènes de remontées permettent d'estimer le risque de fuites d'échelle « catastrophe volcanique » comme négligeable. Les ingénieurs sont davantage préoccupés par les anciens forages qui pourraient exister et perforer une zone de stockage éventuel. Il faudra être en mesure de les identifier et les reboucher rapidement.

D'autre part, le CO<sub>2</sub> n'est pas un gaz toxique au sens classique du terme. C'est un gaz qui fait complètement partie du cycle de la vie : la respiration humaine produit du CO<sub>2</sub> alors que les plantes en ont besoin pour pomper le carbone nécessaire à leur croissance. Nous vivons donc dans une atmosphère qui contient en permanence du CO<sub>2</sub> à des teneurs de l'ordre de quelques centaines de parties par million, c'est-à-dire moins de 1 %.

Toutefois le CO<sub>2</sub> devient dangereux quand sa concentration augmente dans l'atmosphère, car cette augmentation implique un déséquilibre dans la composition de l'air que nous respirons. La géologie fait parfois que du CO<sub>2</sub> émane du sous-sol, par exemple avec certaines eaux thermales ou minérales. Ce gaz se dilue au fur et à mesure dans l'atmosphère et présente un risque naturel généralement bien connu des habitants vivant à proximité de la source.

Le péril devient immédiat quand l'air ne contient que du CO<sub>2</sub> et plus d'oxygène. Ce risque industriel est connu et géré de longue date, non seulement dans les mines mais aussi dans l'agro-alimentaire. Une fuite massive conduit à une

atmosphère irrespirable. C'est ce qui s'est passé au Lac Nyos au Tchad en 1980 : une bulle de CO<sub>2</sub> naturelle stockée au fond d'un lac est remontée à la surface, créant une atmosphère tellement chargée en CO<sub>2</sub> que 1300 personnes vivant au bord du lac sont mortes asphyxiées, ainsi que le bétail.

Cet événement spectaculaire et mémorable est néanmoins assimilable à un phénomène d'éruption volcanique lié au cas particulier de CO<sub>2</sub> piégé dans un lac. Il ne doit pas masquer le fait que dans la plupart des gisements de CO<sub>2</sub> naturel, celui-ci reste enfermé dans le sous sol depuis des millions d'années.

### **Le besoin d'une réglementation adaptée**

La CSC n'a pas vocation à être une activité de service public, mais plutôt une activité opérée par des entreprises privées. L'État devra mettre adapter et élaborer une réglementation qui permette d'assurer que ces activités soient gérées dans de bonnes conditions de sécurité.

Comme nous l'indiquons ci-dessus, la CSC n'est pas une technologie complètement inconnue. Beaucoup de connaissances obtenues dans le cadre de l'exploitation pétrolière et gazière sont utilisées pour la développer. Le captage et le transport sont des technologies relativement classiques dont les industriels savent maîtriser les risques et sur lesquels les enjeux principaux deviennent la maîtrise des coûts et celle de la dépense énergétique.

La partie stockage, même si elle fait appel à un savoir faire existant, pose des questions d'un ordre plus profond et ayant des implications potentielles plus importantes.

Du point de vue réglementaire, se pose tout d'abord la question du statut du CO<sub>2</sub> : est ce un produit industriel ou un déchet ? Le choix entre ces deux alternatives, qui n'est pas tranché au niveau mondial, aura des conséquences sur la réglementation applicable. Dans les deux cas, il est évident qu'un permis sera nécessaire en France, et que la question de la consultation, voire de la compensation des nuisances aux riverains reste à résoudre.

Il est en particulier nécessaire de garantir une surveillance à long terme après la phase d'injection. C'est pourquoi les modalités dans lesquelles les opérateurs



pourront terminer l'utilisation des sites de stockage font l'objet d'une question réglementaire importante. Elle pose la question de la responsabilité à long terme des sites de stockage :

- ♦ Dans le cas où on applique aux sites de stockage le code minier, l'industriel qui "exploite" un site de stockage a une concession à durée limitée au terme de laquelle c'est l'État qui reprend la responsabilité du site.
- ♦ Si les sites de stockage relevaient des Installations Classées pour l'environnement, alors c'est l'industriel qui serait responsable sur le long terme du bon fonctionnement du site. Cela n'est pas sans problème quand on sait que le stockage devra perdurer plusieurs centaines voire des milliers d'années.

La réglementation aura aussi un rôle à jouer dans la définition de la composition permise du gaz injecté. La question est difficile à résoudre, sachant qu'il n'est pas économique de viser une pureté de 99,99%. Se pose alors la question de la nature des autres substances et de leur impact sur le milieu dans lequel elles seraient injectées.

Le terme stockage conduit naturellement à la question du déstockage, c'est à dire la possibilité de pouvoir ressortir le CO<sub>2</sub> qui a été stocké. Selon l'état actuel de l'avancée des recherches scientifiques, on sait que le CO<sub>2</sub>, stocké dans un aquifère, se dissout progressivement dans l'eau, rendant ainsi le piégeage quasi-définitif. En ce qui concerne les anciens gisements d'hydrocarbures, la réversibilité peut être techniquement possible dans le cas où il n'y a pas d'eau dans le gisement (ce qui est rarement le cas).

### Une nécessaire implication des citoyens

La technologie du Captage et Stockage du CO<sub>2</sub> est aujourd'hui à un point où elle fait encore l'objet de recherches et de développements pour améliorer la compréhension de l'ensemble des phénomènes qui y sont potentiellement liés. Mais il devient désormais nécessaire de mettre en place des projets pilotes, ne serait-ce que pour valider les hypothèses et résultats des travaux scientifiques. Or, mettre en oeuvre ces technologies veut dire sortir des laboratoires – ainsi, le regard que porte le public sur cette technologie devient un

facteur essentiel, aussi bien pour le succès des projets pilotes, que pour la détermination de la future trajectoire de développement industriel et à grande échelle envisageable pour le Captage et Stockage du CO<sub>2</sub>.

Les études montrent que le public français et international comprend et reconnaît en grande majorité le rôle que joue le CO<sub>2</sub> dans le processus de changement climatique. Il est également, en grande partie, persuadé que chacun doit contribuer à diminuer les émissions de gaz à effet de serre. Seulement, la technologie du Captage et Stockage de CO<sub>2</sub> est une technologie émergente encore peu connue : le sondage CIRED-TNS SOFRES sur le sujet<sup>e</sup>, mené en avril 2007 sur un échantillon représentatif de la population française, par exemple, montre que seulement 6% des répondants peuvent dire en quoi elle consiste. Le public qui vivra avec la nouvelle technologie et ses conséquences se pose légitimement des questions, notamment sur les divers mécanismes de captage et de stockage, sur leurs conséquences potentielles sur la santé et l'environnement, et sur le devenir à long terme des sites de stockage.

Il est du ressort de ceux qui sont capables d'apporter des réponses – même partielles – de mettre le public en situation de pouvoir se faire une opinion sur la base d'informations pertinentes face à leurs préoccupations. Le paradigme de la décision technocratique ne correspond plus à notre société qui reconnaît le droit du citoyen d'être informé et impliqué lorsque des décisions concernent ses conditions de vie actuelles ou futures, droit explicité par exemple au niveau international dans la convention d'Aarhus sur l'accès à l'information et la participation du public, ou en France dans la Charte de la concertation. Les acteurs industriels, scientifiques ou réglementaires doivent désormais intégrer cette nouvelle donne dans leurs démarches.

### Conclusion

Tout développement technologique a un coût. Dans beaucoup de développements technologiques, les pouvoirs publics apportent leur aide financière dans les phases de recherche, de développement, voire de déploiement. Pour le Captage et Stockage du CO<sub>2</sub>, cette aide semble nécessaire dans la mesure où les mécanismes incitatifs économiques et financiers (le marché du CO<sub>2</sub> par

exemple, donnant un coût à la tonne de CO<sub>2</sub>) ne sont pas encore réellement opérationnels. Il faudra cependant que cette aide soit proportionnée pour qu'elle ne devienne pas un encouragement à se replier sur des solutions utilisant des énergies fossiles – et donc libérant du CO<sub>2</sub> – quand la substitution par des énergies renouvelables est possible.

L'exemple du nucléaire, et plus récemment des éoliennes, montre à l'envie qu'en matière d'énergie tout particulièrement, l'introduction d'une nouvelle technologie est un processus complexe dans lequel interviennent des facteurs techniques, des facteurs économiques, mais aussi des facteurs sociaux et environnementaux. Le Captage et Stockage du CO<sub>2</sub> est une technologie émergente susceptible de rendre de grands services dans la lutte contre le réchauffement climatique : son développement offre une excellente opportunité d'éviter de reproduire les erreurs faites dans le passé et de réaliser un développement réellement durable, c'est-à-dire intégrant en même temps et au même niveau les aspects économiques, sociaux et environnementaux.

---

### NOTES:

- a Les actes de cet atelier de dialogue sont disponibles en ligne à <http://www.cired.fr/forum/article498.html>.
- b METSTOR est un projet de recherche financé par l'ADEME étudiant les méthodes de sélection des sites de stockage.
- c SOCECO2 est un projet de recherche financé par l'ANR dont l'objectif est d'étudier les déterminants sociaux et économiques qui conditionneront le développement de la filière « Capture et Stockage du CO<sub>2</sub> ». Les auteurs remercient les partenaires du projet pour leur collaboration: CIRED-CNRS, BRGM, IFP, INERIS, APESA, TOTAL, ALSTOM, Gaz de France.
- d de Boissieu 2006. La division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050. La Documentation Française.
- e [http://www.tns-sofres.com/etudes/pol/060607\\_climat.pdf](http://www.tns-sofres.com/etudes/pol/060607_climat.pdf)